

PAT-NO: JP406139839A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06139839 A  
TITLE: AC SUPERCONDUCTING CABLE  
PUBN-DATE: May 20, 1994

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME  
FUNAKI, KAZUO  
MITSUNE, SUSUMU  
SHIMADA, MAMORU

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
FUNAKI KAZUO	N/A
TOSHIBA CORP	N/A

APPL-NO: JP04291501

APPL-DATE: October 29, 1992

INT-CL (IPC): H01B012/08, H01F005/08

US-CL-CURRENT: 174/125.1, 505/886

## ABSTRACT:

PURPOSE: To provide an AC superconducting cable unifying the distribution of the current flowing in superconducting strands, capable of stably feeding a large-capacity current, and having high reliability.

CONSTITUTION: Multiple superconducting strands 11 each twisted with many

superconducting filaments are twisted to form a primary stranded wire 12 of an AC superconducting cable 10. Multiple primary stranded wires 12 are twisted to form a secondary stranded wire 13. Multiple secondary stranded wires 13 are likewise twisted to form a higher-order multiplex stranded wire 14. The twisting direction and twisting pitch of the superconducting strand 11 and the stranded wires 12-14 are set to satisfy the current unification conditions by the longitudinal magnetic field or the approximate conditions.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-139839

(43)公開日 平成6年(1994)5月20日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 01 B 12/08  
H 01 F 5/08

識別記号

ZAA  
ZAA C

府内整理番号

7244-5G  
4231-5E

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全14頁)

(21)出願番号

特願平4-291501

(22)出願日

平成4年(1992)10月29日

(71)出願人 592054605

船木 和夫

福岡県福岡市東区みどりが丘1丁目1番7号

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 船木 和夫

福岡県福岡市東区みどりが丘一丁目1番7号

(74)代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

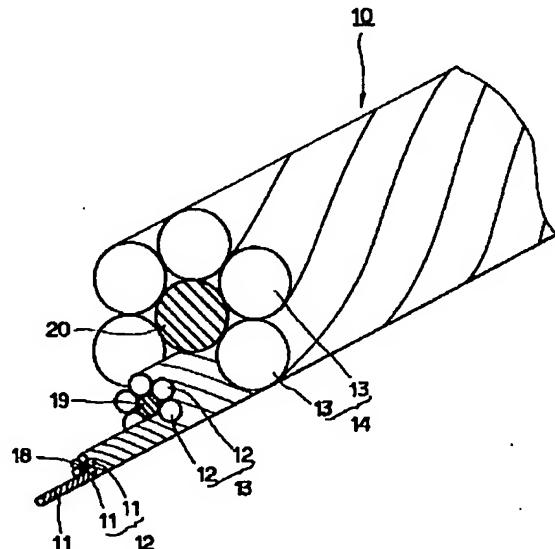
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 交流超電導ケーブル

(57)【要約】

【目的】超電導素線を流れる電流分布を均一化させ、大容量電流を安定的に流すことができる信頼性の高い交流超電導ケーブルを提供することにある。

【構成】この交流超電導ケーブル10は、多数本の超電導フィラメントを捻り合せた超電導素線11を複数本捻り合せて一次撚線12を構成し、この一次撚線12を複数本捻り合せて二次撚線12を構成し、順次同様に捻り合せて高次の多重撚線13、14を構成する一方、前記超電導素線11および各撚線12~14の撚り方向や撚りピッチを、縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したものである。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多数本の超電導フィラメントを撚り合せた超電導素線を複数本撚り合せて一次撚線を構成し、この一次撚線を複数本撚り合せて二次撚線を構成し、順次同様に撚り合せて高次の多重撚線を構成する一方、前記超電導素線および各撚線の撚り方向や撚りピッチを、縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したことを特徴とする交流超電導ケーブル。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は商用周波数で用いられる交流超電導ケーブルに係り、特に超電導トランス・超電導発電機、固定子巻線等の超電導機器に使用される交流超電導ケーブルに関する。

## 【0002】

【従来の技術】交流用超電導ケーブルとしては、従来直径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下、例えば $0.2\text{ }\mu\text{m}$ の超電導フィラメントを数万本有する極細超電導多芯線（超電導素線）が多く用いられる。交流用超電導多芯線では、交流励磁における損失を極力低減させるため、ツイストピッチひいては線径を小さくするので、1本当りの超電導素線の電流容量が数 $10\text{ A}$ 程度に抑えられる。

【0003】この電流容量を大きくするために、従来図11に示すように超電導素線1を複数本撚り合せた超電導線2が開発されており、さらに、電流容量の一層増加を図るため、超電導線を幾重にも撚り合せた多重撚線構造の超電導ケーブルが開発されつつある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】充分に長尺多芯線の超電導ケーブルに外部電源から電流を供給すると、この電流がつくる磁界（多芯線の自己磁界）によって、多芯線内に分散して配置された多数本の超電導フィラメントが電磁気的に結合し、その結果、多芯線の外周部付近に配置された超電導フィラメントに通電電流が局在化する現象（この現象を多芯線の自己磁界効果という。）が生じる。従来の交流超電導ケーブルに $50\text{ Hz}$ や $60\text{ Hz}$ の商用周波数やそれ以上の周波数の交流電流を通電すると、多芯線の自己磁界効果による通電電流の局在化により、各超電導素線に電流が均一に流れないという問題が生じる。

【0005】交流超電導ケーブルの各超電導素線を流れる通電電流が局在化すると、多数の超電導素線を撚り合せても、特定の超電導素線に電流が集中し、特定の超電導素線の限界電流値を超えると、超電導素線自体の持つ能力よりも低い電流値において、超電導ケーブルが超電導状態から常電導状態に転移する。

【0006】すなわち、交流超電導ケーブルを流れる通電電流が局在化すると、通電電流が短尺線の磁界電流（直流電流が発生し始めるしきい値）に達していない場

2

合でも、局所的に電流密度が臨界電流密度に達して常電導転移が生じ、発熱や不安定性の原因となる。

【0007】このため、従来の交流超電導ケーブルでは、超電導素線の電流容量に撚り本数を乗じたものより遥かに低い電流容量しか流すことができず、大電流容量の交流超電導ケーブルを実現することが極めて困難であった。交流超電導ケーブルの電流容量を向上させ、超電導素線の電流容量に撚り本数を乗じた電流値に近い電流容量を得るために、交流超電導ケーブルを如何に構成したらよいか問題となっていた。

【0008】この発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、超電導素線を流れる電流分布を均一化させ、大容量電流を安定的に流すことができる信頼性の高い交流超電導ケーブルを提供することを目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】この発明は、上述した課題を解決するために、多数本の超電導フィラメントを撚り合せた超電導素線を複数本撚り合せて一次撚線を構成し、この一次撚線を複数本撚り合せて二次撚線を構成し、順次同様に撚り合せて高次の多重撚線を構成する一方、前記超電導素線および各撚線の撚り方向や撚りピッチを、縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したものである。

## 【0010】

【作用】この発明の交流超電導ケーブルにおいては、超電導素線および撚線の撚り方向および撚りピッチを、縦磁界（多芯線に沿った磁界）による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足するように設定したので、超電導ケーブルの多芯線軸に沿った縦磁界を多芯線軸方向に均一にまたはほぼ均一に印加させることができ、上記多芯線の自己磁界効果等によって局在化した通電電流を多数本の超電導フィラメントに一様に分散させて超電導素線を流れる電流分布をほぼ均一化させることができる。このため交流超電導ケーブルの多芯線に常電導転移が生じて発熱作用や断熱不安定性が生じるのを有効的に抑制でき、大電流容量化して大容量の電流を安定的に流すことができる。

【0011】逆に、電流容量を一定とした場合、超電導ケーブルの細線化を図ることができ、コスト面や巻線密度の面で有利である。

## 【0012】

【実施例】以下、この発明に係る交流超電導ケーブルの一実施例について添付図面を参照して説明する。

【0013】図1および図2はこの発明に係る交流超電導ケーブルの代表例を示すものである。この交流超電導ケーブル10は超電導トランス、超電導発電機、固定子巻線、限流器等の超電導機器に用いられる多重撚線構造の超電導線である。

【0014】交流超電導ケーブル10は例えば $4.5\text{ mm}$ Φの直径を有する多重撚線導体であり、この交流超電導

50

ケーブル10は超電導多芯線の超電導素線11、一次燃線12、二次燃線13および三次燃線14から構成される。

【0015】超電導素線11は例えば図3に示すように構成される超電導多芯線であり、 $0.2\mu m\Phi$ 程度の超電導フィラメント16を多数本、例えば数万本S方向（あるいはZ方向）に燃り合せて構成される。超電導素線11は $1mm\Phi$ 以下例えば $0.165mm\Phi$ の直径を有し、この超電導素線11を6本、中央の非超電導線18廻りにZ方向に燃り合せて一次燃線12が一重の超電導線として構成される。

【0016】二次燃線13は6本の一次燃線12を中心の非超電導線19廻りにZ方向に燃り合せて構成される二重の超電導線である。

【0017】また、三次燃線14は6本の二次燃線13を中心の非超電導線20廻りにS方向に燃り合せた三次の超電導線であり、この三次燃線14により多重燃線導体である交流超電導ケーブル10が構成される。交流超電導ケーブル10の各燃線12、13、14の中央に配置される非超電導線18、19、20は例えばステンレス鋼材料製の補強用芯線である。

【0018】この交流超電導ケーブル10は一次、二次および三次の各燃線12、13、14の燃り方向がZ方向、Z方向およびS方向を向くZ1 Z2 S3タイプの $6 \times 6 \times 6$ 型多重燃線導体を構成している。交流超電導ケーブル10の各燃線12、13、14の燃り方向は、Z1 Z2 S3タイプに限定されず、S方向とZ方向の組合せ分に相当する燃り方が考えられる。

【0019】交流超電導ケーブル10の一次燃線12を構成する超電導素線11は例えば数km～数10kmの長さを有し、例えばNbTiやNb<sub>3</sub>Snを主な超電導材料とする超電導フィラメントを多数本燃り合せたものである。

【0020】図3は、NbTiを主な超電導材料とする例えば $0.165mm\Phi$ の超電導素線11の例を示すものである。

【0021】この超電導素線11は例えば全体として3層構造を有し、中央のコア部16aとその外側の中間層部16bと、中間層部外側のシース部16cとから構成\*

\*される。コア部16aは、CuをCuNi(Cu-10wt%Ni)で被覆したハニカム状マトリックスを構成しており、このマトリックス21の外側の中間層部16bはNbTiフィラメント22を密に配置してフィラメント部を構成している。フィラメント部の外側に位置するシース部16cはCuNi層とされる。

【0022】中間層部16bのNbTiフィラメント21はNbTiをCuとCuNiで被覆した3層構造であっても、NbTiをCuNiで被覆した2層構造であってもよい。いずれにしても、超電導素線11は中央側のCu/CuNiの安定化鋼とその外側のNbTiフィラメント22とからなり、表面をCuNi層で被覆したもので、絶縁層は設けられていない。

【0023】超電導素線11は例えば $0.2\mu m\Phi$ の同一径の多数本(数万本)の超電導フィラメント16を燃り合せて構成してもよい。

【0024】次に、交流超電導ケーブルの通電特性について説明する。

【0025】交流超電導ケーブル10に使用される超電導素線11には、多数本の超電導フィラメント16からなる超電導多芯線が用いられ、この超電導多芯線には、多芯線軸Zに垂直な磁界(横磁界)B<sub>t</sub>に対する超電導多芯線11内の超電導フィラメント間の電磁気的結合やこの結合に伴う電磁損失(フィラメント間結合損失)を抑制するために、通常燃りが施されている。超電導多芯線11の燃りをツイストという。ツイストされた超電導多芯線11は各超電導フィラメントを単位長さ当たりの巻数がツイストピッチl<sub>p</sub>の逆数に等しいコイルと見做すことができる。

【0026】超電導多芯線11に均一あるいはほぼ均一な縦磁界が印加されると、空間的に均一な磁界配位に対する非飽和領域の電流分布は隣接する超電導フィラメント内のElectric Center Lineで囲まれる領域に鎖交する全磁束の保存条件から導くことができる。

【0027】図4において、通電电流I<sub>t</sub>、均一横磁界B<sub>t</sub>、均一縦磁界B<sub>1</sub>に対する電流分布jの時間変化は、

【数1】

$$\frac{\partial j}{\partial t} = D \frac{1}{r} - \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial j}{\partial r} \right) + \frac{4\pi}{\mu_0 l_p} \left( \dot{B}_1 + \frac{\mu_0}{l_p} \dot{I}_T \right) \quad \dots \dots (1)$$

5

6

$$D = \frac{\sqrt{\pi r_f^2}}{2\mu_0 \lambda J_C} + B_1 \quad \dots \dots (2)$$

但し、  $D$  : 等価的な電流拡散時定数  
 $r_f$  : 超電導フィラメント径  
 $\lambda J_C$  : 平均的臨界電流密度  
 $\mu_0$  : 真空の透磁率  
 $I_p$  : ツイストピッチ

で表わされる。

【0028】すなわち、超電導多芯線11にはほぼ均一な縦磁界が印加されると、超電導フィラメントコイルに鎖交する磁束に応じて超電導フィラメントに起電力が発生するが、起電力は超電導フィラメントコイル径の自乗に比例するため、コイル径の異なる超電導フィラメント間には起電力の差に基づいて超電導フィラメントに電流が誘起される。

\* 【0029】また、超電導フィラメントがほぼ一様に分散配置された超電導多芯線11においては鎖交磁束の時間変化が0であるので、超電導フィラメントコイル間の起電力差により超電導フィラメントに誘起される電流密度  $j_{sh}$  は、(1)式より右辺第1項の電流の拡散項を無視すると、

【数3】

$$j_{sh} = -\frac{4\pi}{\mu_0 I_p} (B_1 + \frac{\mu_0}{I_p} I_T) \quad \dots \dots (3)$$

で表わされる。

【0030】この(3)式において、縦磁界  $B_1$  は均一な縦磁界の大きさ(磁束密度)であり、超電導多芯線11の捻り方(S方向またはZ方向)により決定される値である。但し、各磁界や電流の向きの正方向は超電導多芯線11のツイストの方向に対応している。

【0031】また、(3)式より、超電導多芯線11の半径を  $r_w$  とすると、超電導多芯線11の通電電流  $I_T$  と断面積  $\pi r_w^2$ との関係は次のパターンに分類される。

【0032】

$$【数4】 I_T > \pi r_w^2 \cdot j_{sh} \quad \dots \dots (4)$$

$$【数5】 I_T = \pi r_w^2 \cdot j_{sh} \quad \dots \dots (5)$$

$$【数6】 I_T < \pi r_w^2 \cdot j_{sh} \quad \dots \dots (6)$$

【0033】超電導多芯線11において、(4)式と(6)式の場合、図5(A), (B)に示すように半径  $S_f$

$$j_{sh} = j_T = I_T / S_f \quad \dots \dots (7)$$

但し、  $S_f$  : 超伝導フィラメントが分散配置されている領域の断面積

で与えられる。

★1 は、

【0036】いわゆる(3)式および(7)式より超電導多芯線内の通電電流を一様化するための縦磁界  $B$  ★

$$B_1 = \frac{\mu_0}{I_p} \cdot I_T \left( \frac{1}{4\pi S_f} - 1 \right) \quad \dots \dots (8)$$

【数8】

で与えられる。この(8)式は縦視界における電流一様化条件である。

【0037】しかして、超電導多芯線に(8)式を満足させたり、近似的に満足させる撲り方向(右撲り=S方向、左撲り=Z方向)と撲りピッチ(ツイストピッチ $I_T$ )を与えると、超電導多芯線11内を流れる通電電流が一様化あるいはほぼ一様化され、電流容量の増加が図れる。

【C038】また、超電導多芯線11に縦磁界を印加させても安定性の向上が図れる領域は、図6に示す線分a, b, c, dの境界で囲まれた領域である。

【0039】(1) 線分a: この線分aの境界より左側の領域( $B_1 < 0$ )では、縦磁界 $B_1$ の印加によって超電導多芯線外周部の飽和領域がさらに増加して安定性が低下する。

(2) 線分b: 通電電流が超電導多芯線の臨界電流に達するところ。

(3) 線分c: 縦磁界による遮蔽電流が飽和するところ。

(4) 線分d: この境界より右側の領域では、縦磁界の印加によって超電導多芯線外周部の飽和領域がさらに増加して安定性が低下する。

(5) 線分e: 超電導多芯線内の電流分布が一様になる\*

$$0 < I_T < I_c / 3$$

$$; B_{11} / 3 \text{ (境界a' 上)} < B_1 < (B_{11} + 2B_{13}) / 3 \text{ (境界d' 上)}$$

$$I_c / 3 < I_T < I_c .$$

$$; B_{11} / 3 \text{ (境界a' 上)} < B_1 < (B_{11} + 2B_{12}) / 3 \text{ (境界c' 上)}$$

の領域が、安定化領域であることが解ったが、この場合にも、直線eの電流一様化条件に近いことがより望ましい。

【0044】ところで、交流超電導ケーブル10は多重撲線導体として構成される。

【0045】一般に、多重撲線において、縦磁界 $B_1$ と通電電流 $I_T$ とは比例関係にあるが、各撲線レベル(一次、二次、三次...)の撲り方向や撲りピッチは簡単な関係式で表わせない。

【0046】しかし、多重撲線構造と超電導多芯線軸に沿った縦磁界の大きさとの間にはコンピュータ等の解析によって一義的に関係が定められているので、超電導多芯線11内の電流分布の一様化に要求される縦磁界 $B_1$ の大きさが与えられる、磁界計算の解析に基づき、多様※

\*条件。

【0040】図6においても、安定化領域は線分a, b, c, dで囲まれた領域であるが、できるだけ(8)式の電流一様化条件を満足させる直線eの近くが望ましい。図6において、縦軸は通電電流 $I_T$ 、横軸は縦磁界 $B_1$ である。縦磁界 $B_1$ の正方向の定義は、超電導多芯線が右(S)ツイストの場合、通電電流の方向と逆方向、左(Z)ツイストの場合、通電電流の方向と同方向である。

10 【0041】また、ここでは臨界電流 $I_c$ は、一定として示しているが、一般に、臨界電流 $I_c$ は超電導多芯線11が置かれている磁界の大きさと方向に依存するので、磁気的環境を条件にする必要がある。ここでは、実際に使用される条件と環境下で対象としている超電導多芯線に電流 $I_T$ が適電されているときその多芯線が晒される磁界のうち、横成分(横磁界)のみが単独の多芯線に印加されたときの臨界電流とする。

【0042】また、超電導多芯線11に印加される縦磁界 $B_1$ の範囲が広過ぎる場合には、図7の線分a', b, c', d'の境界で囲まれた領域で充分に安定化を向上させ得ることが解った。

【0043】すなわち、

【数9】

※な多重撲線のタイプに即して要求を満たす撲り方向や撲りピッチを(8)式の電流一様化条件で決定できる。

【0047】すなわち、磁界計算の解析に基づき、多重撲線の各種タイプに即して(8)式の縦磁界における電流一様化条件を満たす、あるいは近似的に満たす多重撲線の撲り方向や撲りピッチを決定すればよい。

【0048】図8は、磁界計算解析に基づいて(8)式の電流一様化条件を満たす、最適化された多重撲線の撲り方向と撲りピッチを示す。

40 【0049】図8には交流超電導ケーブルに $6 \times 6 \times 6$ 型3重撲線導体を用いた例を示す。

【0050】3重撲線導体の諸元は、  
【外1】

9  
超電導素線 : 0. 167mmΦ、

フィラメント径 = 0. 2 μm、

臨界電流密度 =  $7. 7 \times 10^9 / B^{1/2} A/m^2$

材料 : NbTi ; Cu ; Cu 10wt%Ni

(0. 3 ; 1(0. 1) ; 0. 7 - x)

一次撚線 : 0. 5mmΦ

二次撚線 : 1. 5mmΦ

三次撚線 : 4. 5mmΦ

である。

【0051】図8は、交流超電導ケーブルとして4種類（撚線構造：S3 Z2 Z1, S3 Z2 S1, S3 S2 Z1 およびS3 S2 S1）のタイプの3重撚線構造に対して、最適化された超電導素線11のツイストピッチと最終導体である3重撚線導体の撚りピッチを示すものである。図8から超電導素線（超電導多芯線）のツイストピッチ<sub>1P</sub>は、各素線構造とも1~2mmの範囲に納まっているが、最終導体の撚りピッチは撚線構造に依存していることが解る。3重撚線導体における撚線構造において、S3 Z2 Z1タイプは、一次撚線が左（Z方向）撚り、二次撚線が左（Z方向）撚り、三次撚線が右（S方向）撚りの例を示す。

【0052】なお、本発明の交流超電導ケーブルの一実施例では、6×6×6型のZ1 Z2 S3タイプの3重撚線構造の例を示したが、撚線構造は種々のタイプがある一方、3重撚線構造に限定されず、一重撚線であっても、二重撚線であっても、あるいは四重以上の多重撚線であってもよい。

【0053】また、多重撚線の各レベルの中心に補強用芯線として非超電導線を配置したが、この非超電導線に代えて超電導線を使用し、図1および図2に示す6×6×6型多重撚線導体を7×7×7型多重撚線導体としてもよい。中心に超電導線を採用した場合、各超電導線のインピーダンスを等しくするため、中央の超電導線が外側の超電導線と順次入れ替わるように撚り合せるとよい。

【0054】さらに、交流超電導ケーブルの多重撚線導体は、図9に示すように、3×3×3型多重撚線導体30としても、図10に示すように矩形撚線導体31としてもよい。

【0055】図9に示す多重撚線導体30は3重撚線構造の例を示し、3本の例えば右（S方向）撚りの超電導素線11をZ方向に撚り合せて一次撚線32を構成する。そして、この一次撚線32を3本Z方向に撚り合せて二次撚線33を、二次撚線33をZ方向に撚り合せて三次撚線34を構成し、Z1 Z2 Z3タイプの3重撚線\*50

\*導体を構成したものである。

【0056】図10に示す矩形撚線導体31は、6本（あるいは7本）の超電導素線11を撚り合せて一次撚線35を構成し、この一次撚線35を矩形断面の補強用芯材としての非超電導線36の周りに多数本巻き付けて二次撚線37を構成したものである。非超電導線36の周囲に多重撚線を巻き付けるようにしてもよい。

【0057】

【発明の効果】以上本発明に係る交流超電導ケーブルにおいては、超電導素線および各撚線の撚り方向や撚りピッチを縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したので、超電導多芯線（超電導素線）の自己磁界効果等によって局在化した通電電流を多数本の超電導フィラメントに一様に分散させ、超電導素線を流れる電流分布を均一化させることができる。このため、交流超電導ケーブルの多芯線に常電導転移が生じて発熱作用させたり、断熱不安定性が生じるのを有効的に抑制でき、大電流容量化を図ることができる。

【0058】電流容量を一定とした場合には、超電導ケーブルの細線化を図ることができ、コスト低減や巻線密度の面で有利である。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る交流超電導ケーブルの一実施例を示す斜視図。

【図2】図1に示した交流超電導ケーブルの断面図。

40 【図3】交流超電導ケーブルに用いられる超電導素線（超電導多芯線）を例示的に示す図。

【図4】交流超電導ケーブルに用いられる超電導素線に対する磁界配位を示す図。

【図5】(A)および(B)は縦磁界下における超電導素線の電流分布を示す図。

【図6】安定化が向上する縦磁界と通電電流の関係を示す図。

【図7】縦磁界の範囲が大きい場合における縦磁界と通電電流の関係を示す図。

【図8】この発明に係る交流超電導ケーブルにおいて、

11

最適化された捻線におけるツイストピッチと最終捻りピッチの関係を示す図。

【図9】この発明に係る交流超電導ケーブルの他の実施例を示す斜視図。

【図10】この発明に係る交流超電導ケーブルの第3実施例を示す斜視図。

【図11】従来の交流超電導ケーブルを示す断面図。

【符号の説明】

12

10, 30, 31 交流超電導ケーブル

11 超電導素線(超電導多芯線)

12, 32, 35 一次捻線(超電導線)

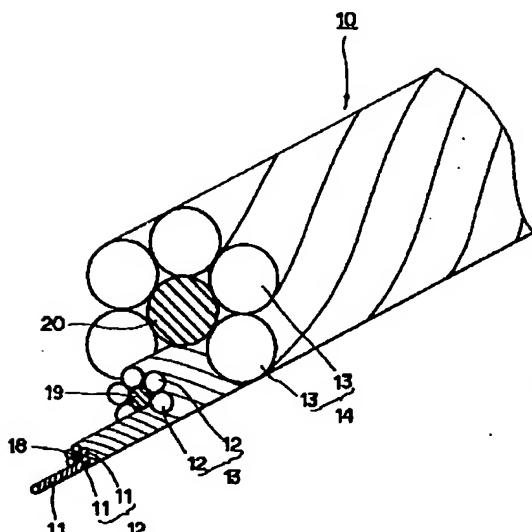
13, 33 二次超電導(超電導線)

14, 34 三次超電導(超電導線)

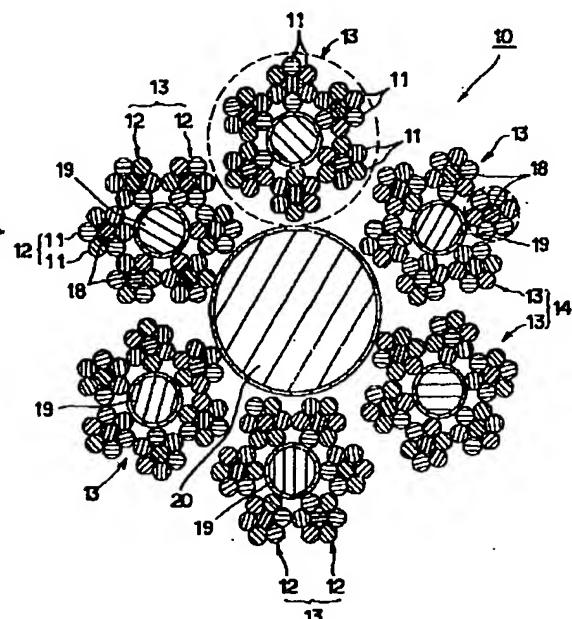
18, 19, 20 非超電導線(補強用芯線)

36 非超電導線(補強用芯材)

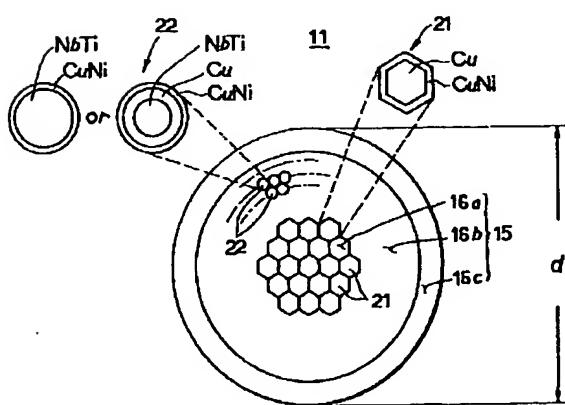
【図1】



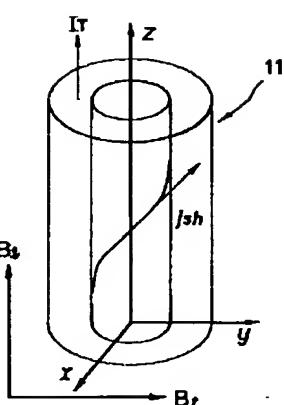
【図2】



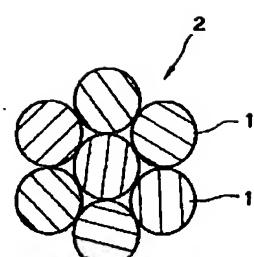
【図3】



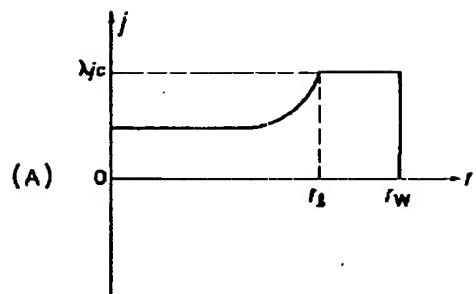
【図4】



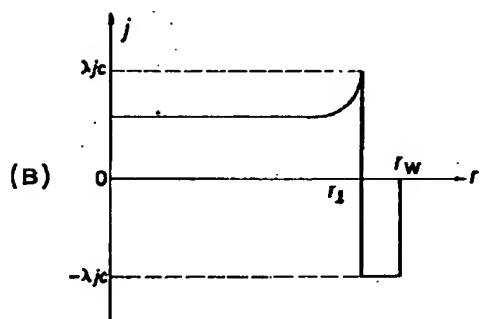
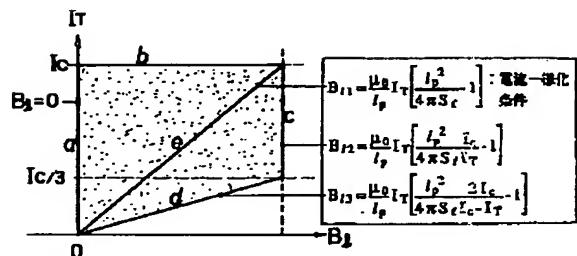
【図11】



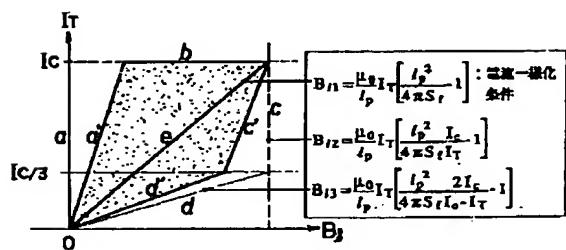
【図5】



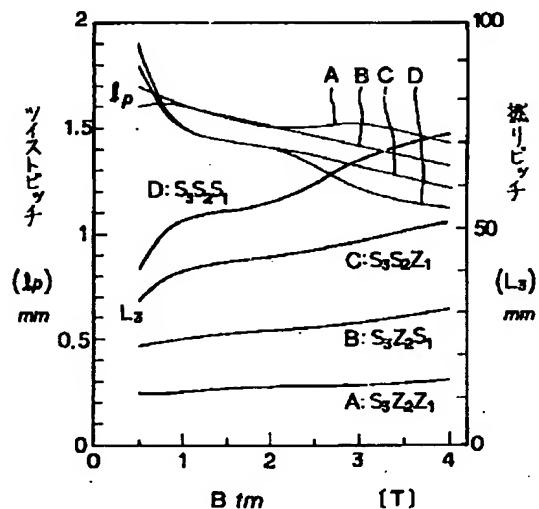
【図6】



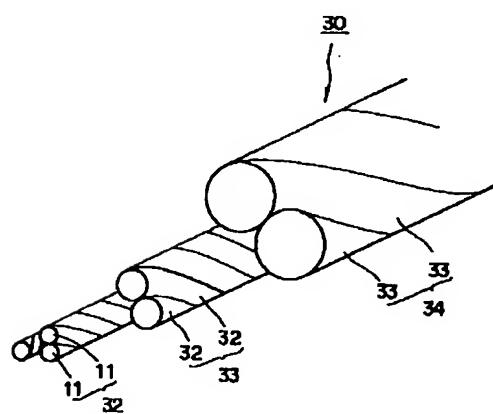
【図7】



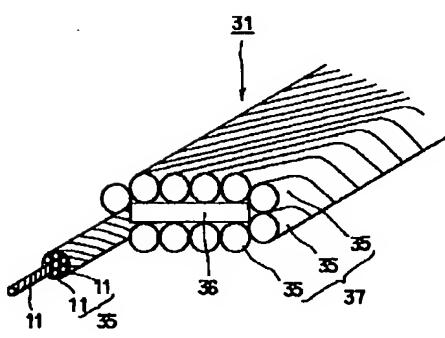
【図8】



【図9】



【図10】



## 【手続補正書】

【提出日】平成4年12月7日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】交流超電導ケーブル

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多数本の超電導フィラメントを捲り合せた超電導素線を複数本捲り合せて一次撚線を構成し、この一次撚線を複数本捲り合せて二次撚線を構成し、順次同様に捲り合せて高次の多重撚線を構成する一方、前記超電導素線および各撚線の捲り方向や捲りピッチを、縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したことを特徴とする交流超電導ケーブル。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は商用周波数で用いられる交流超電導ケーブルに係り、特に超電導トランス・超電導発電機、固定子巻線等の超電導機器に使用される交流超電導ケーブルに関するもの。

## 【0002】

【従来の技術】交流用超電導ケーブルとしては、従来直径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下、例えば $0.2\text{ }\mu\text{m}$ の超電導フィラメントを数万本有する極細超電導多芯線（超電導素線）が多く用いられる。交流用超電導多芯線では、交流励磁における損失を極力低減させるため、ツイストピッチひいては線径を小さくするので、1本当りの超電導素線の電流容量が数 $10\text{ A}$ 程度に抑えられる。

【0003】この電流容量を大きくするために、従来図11に示すように超電導素線1を複数本捲り合せた超電導線2が開発されており、さらに、電流容量の一層増加を図るため、超電導線を幾重にも捲り合せた多重撚線構造の超電導ケーブルが開発されつつある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】充分に長尺多芯線の超電導ケーブルに外部電源から電流を供給すると、この電流がつくる磁界（多芯線の自己磁界）によって、多芯線内に分散して配置された多数本の超電導フィラメントが電磁気的に結合し、その結果、多芯線の外周部付近に配置された超電導フィラメントに通電電流が局在化する現象（この現象を多芯線の自己磁界効果という。）が生じる。従来の交流超電導ケーブルに $50\text{ Hz}$ や $60\text{ Hz}$ の商用周波数やそれ以上の周波数の交流電流を通電すると、多芯線の自己磁界効果による通電電流の局在化により、各超電導素線に電流が均一に流れないと問題が生じる。

【0005】このため、従来の交流超電導ケーブルでは、超電導素線の電流容量に捲り本数を乗じたものより遙かに低い電流容量しか流すことができず、大電流容量の交流超電導ケーブルを実現することが極めて困難であった。交流超電導ケーブルの電流容量を向上させ、超電導素線の電流容量に捲り本数を乗じた電流値に近い電流容量を得るためにには、交流超電導ケーブルを如何に構成したらよいか問題となっていた。

【0006】この発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、超電導素線を流れる電流分布を均一化させ、大容量電流を安定的に流すことができる信頼性の高い交流超電導ケーブルを提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】この発明は、上述した課題を解決するために、多数本の超電導フィラメントを捲り合せた超電導素線を複数本捲り合せて一次撚線を構成し、この一次撚線を複数本捲り合せて二次撚線を構成し、順次同様に捲り合せて高次の多重撚線を構成する一方、前記超電導素線および各撚線の捲り方向や捲りピッチを、縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したものである。

## 【0008】

【作用】この発明の交流超電導ケーブルにおいては、超電導素線および撚線の捲り方向および捲りピッチを、縦磁界（多芯線に沿った磁界）による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足するように設定したので、超電導ケーブルの多芯線軸に沿った縦磁界を多芯線軸方向に均一にまたはほぼ均一に印加させることができ、上記多芯線の自己磁界効果等によって局在化した通電電流を多数本の超電導フィラメントに一様に分散させて超電導素線を流れる電流分布をほぼ均一化させることができる。このため交流超電導ケーブルの多芯線に常電導転移が生じて発熱作用や断熱不安定性が生じるのを有効的に抑制でき、大電流容量化して大容量の電流を安定的に流すことができる。

【0009】逆に、電流容量を一定とした場合、超電導ケーブルの細線化を図ることができ、コスト面や巻線密度の面で有利である。

## 【0010】

【実施例】以下、この発明に係る交流超電導ケーブルの一実施例について添付図面を参照して説明する。

【0011】図1および図2はこの発明に係る交流超電導ケーブルの代表例を示すものである。この交流超電導ケーブル10は超電導トランス、超電導発電機、固定子巻線、限流器等の超電導機器に用いられる多重撚線構造の超電導線である。

【0012】交流超電導ケーブル10は例えば $4.5\text{ mm}$ の直径を有する多重撚線導体であり、この交流超電導ケーブル10は超電導多芯線の超電導素線11、一次撚

線12、二次撲線13および三次撲線14から構成される。

【0013】超電導素線11は例えば図3に示すように構成される超電導多芯線であり、 $0.2\mu m\Phi$ 程度の超電導フィラメント16を多数本、例えば数万本S方向（あるいはZ方向）に撲り合せて構成される。超電導素線11は $1mm\Phi$ 以下例えば $0.165mm\Phi$ の直径を有し、この超電導素線11を6本、中央の非超電導線18廻りにZ方向に撲り合せて一次撲線12が一重の超電導線として構成される。

【0014】二次撲線13は6本の一次撲線12を中心の非超電導線19廻りにZ方向に撲り合せて構成される二重の超電導線である。

【0015】また、三次撲線14は6本の二次撲線13を中心の非超電導線20廻りにS方向に撲り合せた三次の超電導線であり、この三次撲線14により多重撲線導体である交流超電導ケーブル10が構成される。交流超電導ケーブル10の各撲線12、13、14の中央に配置される非超電導線18、19、20は例えばステンレス鋼材料製の補強用芯線である。

【0016】この交流超電導ケーブル10は一次、二次および三次の各撲線12、13、14の撲り方向がZ方向、Z方向およびS方向を向くZ1 Z2 S3タイプの $6 \times 6 \times 6$ 型多重撲線導体を構成している。交流超電導ケーブル10の各撲線12、13、14の撲り方向は、Z1 Z2 S3タイプに限定されず、S方向とZ方向の組合せ分に相当する撲り方が考えられる。

【0017】交流超電導ケーブル10の一次撲線12を構成する超電導素線11は例えば数km～数10kmの長さを有し、例えばNbTiやNb<sub>3</sub>Snを主な超電導材料とする超電導フィラメントを多数本撲り合せたものである。

【0018】図3は、NbTiを主な超電導材料とする例えば $0.165mm\Phi$ の超電導素線11の例を示すものである。

【0019】この超電導素線11は例えば全体として3層構造を有し、中央のコア部16aとその外側の中間層部16bと、中間層部外側のシース部16cとから構成される。コア部16aは、CuをCuNi(Cu-10

wt%Ni)で被覆したハニカム状マトリックスを構成しており、このマトリックス21の外側の中間層部16bはNbTiフィラメント22を密に配置してフィラメント部を構成している。フィラメント部の外側に位置するシース部16cはCuNi層とされる。

【0020】中間層部16bのNbTiフィラメント21はNbTiをCuとCuNiで被覆した3層構造であっても、NbTiをCuNiで被覆した2層構造であってもよい。いずれにしても、超電導素線11は中央側のCu/CuNiの安定化鋼とその外側のNbTiフィラメント22とからなり、表面をCuNi層で被覆したもので、絶縁層は設けられていない。

【0021】超電導素線11は例えば $0.2\mu m\Phi$ の同一径の多数本(数万本)の超電導フィラメント16を撲り合せて構成してもよい。

【0022】次に、交流超電導ケーブルの通電特性について説明する。

【0023】交流超電導ケーブル10に使用される超電導素線11には、多数本の超電導フィラメント16からなる超電導多芯線が用いられ、この超電導多芯線には、多芯線軸Zに垂直な磁界(横磁界)B<sub>t</sub>に対する超電導多芯線11内の超電導フィラメント間の電磁気的結合やこの結合に伴う電磁損失(フィラメント間結合損失)を抑制するために、通常撲りが施されている。超電導多芯線11の撲りをツイストという。ツイストされた超電導多芯線11は各超電導フィラメントを単位長さ当たりの巻数がツイストピッチl<sub>p</sub>の逆数に等しいコイルと見做すことができる。

【0024】超電導多芯線11に均一あるいはほぼ均一な縦磁界が印加されると、空間的に均一な磁界配位に対する非飽和領域の電流分布は隣接する超電導フィラメント内のElectric Center Lineで囲まれる領域に鎖交する全磁束の保存条件から導くことができる。

【0025】図4において、通電電流I<sub>t</sub>、均一横磁界B<sub>t</sub>、均一縦磁界B<sub>1</sub>に対する電流分布jの時間変化は、

【数1】

$$\frac{\partial j}{\partial t} = D \frac{1}{r} - \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial j}{\partial r} \right) + \frac{4\pi}{\mu_0 l_p} \left( \dot{B}_1 + \frac{\mu_0}{l_p} \dot{i}_1 \right) \quad \dots \quad (1)$$

【数2】

$$D = \frac{\sqrt{\pi r_f^2}}{2\mu_0 \lambda J_c} + \dot{B}_I \quad \dots\dots (2)$$

但し、  $D$  : 等価的な電流拡散時定数  
 $r_f$  : 超電導フィラメント径  
 $\lambda J_c$  : 平均的臨界電流密度  
 $\mu_0$  : 真空の透磁率  
 $l_p$  : ツイストピッチ

で表わされる。

【0026】すなわち、超電導多芯線11にはほぼ均一な縦磁界が印加されると、超電導フィラメントコイルに鎖交する磁束に応じて超電導フィラメントに起電力が発生するが、起電力は超電導フィラメントコイル径の自乗に比例するため、コイル径の異なる超電導フィラメント間には起電力の差に基づいて超電導フィラメントに電流が誘起される。

$$j_{sh} = \frac{4\pi}{\mu_0 l_p} (B_I + \frac{\mu_0}{l_p} I_T) \quad \dots\dots (3)$$

で表わされる。

【0028】この(3)式において、縦磁界 $B_I$ は撲線内の素線に沿って空間的に変化する縦磁界の平均値(均一な縦磁界成分)の大きさ(磁束密度)であり、超電導多芯線11の撲り方(S方向またはZ方向)により決定される値である。但し、例えば縦磁界の正方向は超電導多芯線11が右(S)ツイストの場合、通電電極の方向と逆方向、左(Z)ツイストの場合、通電電極の方向と同方向である。

【0029】また、(3)式より、超電導多芯線11の半径を $r_w$ とすると、超電導多芯線11の通電電流 $I_T$ と断面積 $\pi r_w^2$ との関係は次のパターンに分類される。

【0030】

$$【数4】 I_T > \pi r_w^2 \cdot j_{sh} \quad \dots\dots (4)$$

$$【数5】 I_T = \pi r_w^2 \cdot j_{sh} \quad \dots\dots (5)$$

$$【数6】 I_T < \pi r_w^2 \cdot j_{sh} \quad \dots\dots (6)$$

【0031】超電導多芯線11において、(4)式と

$$j_{sh} = j_T = I_T / S_f \quad \dots\dots (7)$$

但し、 $S_f$  : 超伝導フィラメントが分散配置されている領域の断面積

で与えられる。

【0034】いわゆる(3)式および(7)式より超電導多芯線内の通電電流を一様化するための縦磁界B

【0027】また、超電導フィラメントがほぼ一様に分散配置された超電導多芯線11においては鎖交磁束の時間変化が0であるので、超電導フィラメントコイル間の起電力差により超電導フィラメントに誘起される電流密度 $j_{sh}$ は、(1)式より右辺第1項の電流の拡散項を無視すると、

【数3】

(6)式の場合、図5(A), (B)に示すように半径方向の電流分布が模式的に表わされ、また、(5)式の場合には、外周部に飽和領域が存在せず均一分布が達成されるので、断熱不安定性が回避される。

【0032】(5)式から明らかなように、超電導多芯線11内の非飽和領域の全遮蔽電流が通電電流 $I_T$ のとき飽和領域が発生せず、電流が均一化されることがわかる。遮蔽電流密度は縦磁界によって決まるので、撲線導体中では撲りピッチ等の撲線構造を上手く設計して撲線の自己磁界中の縦成分を調整することによりこの電流均一化条件を達成すれば、交流用超電導の安定性を飛躍的に向上させることが可能になる。

【0033】してみると、超電導多芯線において、自己磁界効果等によって局在化した通電電流 $I_T$ を一様化するための条件は、超電導多芯線の平均的電流密度を $j_T$ とすると、

【数7】

1は、

【数8】

$$B_1 = \frac{\mu_0}{l_p} \cdot I_T \left( \frac{l_p^2}{4\pi S_f} - 1 \right) \quad \dots \dots (8)$$

で与えられる。この(8)式は縦磁界における電流一様化条件である。

【0035】しかして、超電導多芯線に(8)式を満足させたり、近似的に満足させる撚り方向(右撚り=S方向、左撚り=Z方向)と撚りピッチ(ツイストピッチ $I_p$ )を与えると、超電導多芯線11内を流れる通電電流が一様化あるいはほぼ一様化され、電流容量の増加が図れる。

【0036】また、超電導多芯線11に縦磁界を印加させても安定性の向上が図れる領域は、図6に示す線分a, b, c, dの境界で囲まれた領域である。

【0037】(1) 線分a: この線分aの境界より左側の領域( $B_1 < 0$ )では、縦磁界 $B_1$ の印加によって超電導多芯線外周部の飽和領域がさらに増加して安定性が低下する。

(2) 線分b: 通電電流が超電導多芯線の臨界電流に達するところ。

(3) 線分c: 縦磁界による遮蔽電流が飽和するところ。

(4) 線分d: この境界より右側の領域では、縦磁界の印加によって超電導多芯線外周部の飽和領域がさらに増加して安定性が低下する。

(5) 線分e: 超電導多芯線内の電流分布が一様になる条件。

$$\begin{aligned} 0 < I_T &< I_c / 3 \\ ; B_{11} / 3 \text{ (境界a' 上)} &< B_1 < (B_{11} + 2B_{13}) / 3 \text{ (境界d' 上)} \\ I_c / 3 < I_T &< I_c \\ ; B_{11} / 3 \text{ (境界a' 上)} &< B_1 < (B_{11} + 2B_{12}) / 3 \text{ (境界c' 上)} \end{aligned}$$

の領域が、安定化領域であることが解ったが、この場合にも、直線eの電流一様化条件に近いことがより望ましい。

【0042】ところで、交流超電導ケーブル10は多重撚線導体として構成される。

【0043】一般に、多重撚線において、縦磁界 $B_1$ と通電電流 $I_T$ とは比例関係にあるが、各撚線レベル(一次、二次、三次...)の撚り方向や撚りピッチは簡単な関係式で表わせない。

【0044】しかし、多重撚線構造と超電導多芯線軸に沿った縦磁界の大きさとの間にはコンピュータ等の解析によって一義的に関係が定められているので、超電導多芯線11内の電流分布の一様化に要求される縦磁界 $B_1$ の大きさが与えられる、磁界計算の解析に基づき、多様

【0038】図6においても、安定化領域は線分a, b, c, dで囲まれた領域であるが、できるだけ(8)式の電流一様化条件を満足させる直線eの近くが望ましい。図6において、縦軸は通電電流 $I_T$ 、横軸は縦磁界 $B_1$ である。縦磁界 $B_1$ の正方向の定義は、超電導多芯線が右(S)ツイストの場合、通電電流の方向と逆方向、左(Z)ツイストの場合、通電電流の方向と同方向である。

【0039】また、ここでは臨界電流 $I_c$ は、一定として示しているが、一般に、臨界電流 $I_c$ は超電導多芯線11が置かれている磁界の大きさと方向に依存するので、磁気的環境を条件にする必要がある。ここでは、実際に使用される条件と環境下で対象としている超電導多芯線に電流 $I_T$ が通電されているときその多芯線が晒される磁界のうち、横成分(横磁界)のみが単独の多芯線に印加されたときの臨界電流とする。

【0040】また、超電導多芯線11に印加される縦磁界 $B_1$ の範囲が広過ぎる場合には、図7の線分a', b, c', d'の境界で囲まれた領域で充分に安定化を向上させ得ることが解った。

【0041】すなわち、

【数9】

な多重撚線のタイプに即して要求を満たす撚り方向や撚りピッチを(8)式の電流一様化条件で決定できる。

【0045】すなわち、磁界計算の解析に基づき、多重撚線の各種タイプに即して(8)式の縦磁界における電流一様化条件を満たす、あるいは近似的に満たす多重撚線の撚り方向や撚りピッチを決定すればよい。

【0046】図8は、磁界計算解析に基づいて(8)式の電流一様化条件を満たす、最適化された多重撚線の撚り方向と撚りピッチを示す。

【0047】図8には交流超電導ケーブルに $6 \times 6 \times 6$ 型3重撚線導体を用いた例を示す。

【0048】3重撚線導体の諸元は、

【外1】

超電導素線 : 0. 167mmΦ、

フィラメント径 = 0. 2 μm、

臨界電流密度 =  $7.7 \times 10^9 / B^{1/2} A/m^2$

材料 ; NbTi ; Cu ; Cu 10wt%Ni

(0. 3 : x (< 0.1) ; 0. 7 - x)

一次撲線 : 0. 5mmΦ

二次撲線 : 1. 5mmΦ

三次撲線 : 4. 5mmΦ

である。

【0049】図8は、交流超電導ケーブルとして4種類（撲線構造 : S3 Z2 Z1, S3 Z2 S1, S3 S2 Z1 および S3 S2 S1）のタイプの3重撲線構造に対して、最適化された超電導素線11のツイストピッチと最終導体である3重撲線導体の撲りピッチを示すものである。図8から超電導素線（超電導多芯線）のツイストピッチ $P_t$ は、各素線構造とも1~2mmの範囲に納まっているが、最終導体の撲りピッチは撲線構造に依存していることが解る。3重撲線導体における撲線構造において、S3 Z2 Z1タイプは、一次撲線が左（Z方向）撲り、二次撲線が左（Z方向）撲り、三次撲線が右（S方向）撲りの例を示す。

【0050】なお、本発明の交流超電導ケーブルの一実施例では、 $6 \times 6 \times 6$ 型のZ1 Z2S3タイプの3重撲線構造の例を示したが、撲線構造は種々のタイプがある一方、3重撲線構造に限定されず、一重撲線であっても、二重撲線であっても、あるいは四重以上の多重撲線であってもよい。

【0051】また、多重撲線の各レベルの中心に補強用芯線として非超電導線を配置したが、この非超電導線に代えて超電導線を使用し、図1および図2に示す $6 \times 6 \times 6$ 型多重撲線導体を $7 \times 7 \times 7$ 型多重撲線導体としてもよい。中心に超電導線を採用した場合、各超電導線のインピーダンスを等しくするため、中央の超電導線が外側の超電導線と順次入れ替わるように撲り合せるとよい。

【0052】さらに、交流超電導ケーブルの多重撲線導体は、図9に示すように、 $3 \times 3 \times 3$ 型多重撲線導体30としても、図10に示すように矩形撲線導体31としてもよい。

【0053】図9に示す多重撲線導体30は3重撲線構造の例を示し、3本の例えは右（S方向）撲りの超電導素線11をZ方向に撲り合せて一次撲線32を構成する。そして、この一次撲線32を3本Z方向に撲り合せて二次撲線33を、二次撲線33をZ方向に撲り合せて三次撲線34を構成し、Z1 Z2 Z3タイプの3重撲線

導体を構成したものである。

【0054】図10に示す矩形撲線導体31は、6本（あるいは7本）の超電導素線11を撲り合せて一次撲線35を構成し、この一次撲線35を矩形断面の補強用芯材としての非超電導線36の周りに多数巻き付けて二次撲線37を構成したものである。非超電導線36の周りに多重撲線を巻き付けるようにしてもよい。

【0055】

【発明の効果】以上本発明に係る交流超電導ケーブルにおいては、超電導素線および各撲線の撲り方向や撲りピッチを縦磁界による電流一様化条件あるいはその近似条件を満足させるように設定したので、超電導多芯線（超電導素線）の自己磁界効果等によって局在化した通電電流を多数本の超電導フィラメントに一様に分散させ、超電導素線を流れる電流分布を均一化させることができる。このため、交流超電導ケーブルの多芯線に常電導転移が生じて発熱作用させたり、断熱不安定性が生じるのを有効的に抑制でき、大電流容量化を図ることができる。

【0056】電流容量を一定とした場合には、超電導ケーブルの細線化を図ることができ、コスト低減や巻線密度の面で有利である。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る交流超電導ケーブルの一実施例を示す斜視図。

【図2】図1に示した交流超電導ケーブルの断面図。

【図3】交流超電導ケーブルに用いられる超電導素線（超電導多芯線）を例示的に示す図。

【図4】交流超電導ケーブルに用いられる左ツイストの超電導素線に対する磁界配位を示す図。

【図5】(A) および (B) は縦磁界下における超電導素線の電流分布を示す図。

【図6】安定化が向上する縦磁界と通電電流の関係を示す図。

【図7】縦磁界の範囲が大きい場合における縦磁界と通電電流の関係を示す図。

【図8】この発明に係る交流超電導ケーブルにおいて、

最適化された燃線におけるツイストピッチと最終燃りピッチの関係を示す図。

【図9】この発明に係る交流超電導ケーブルの他の実施例を示す斜視図。

【図10】この発明に係る交流超電導ケーブルの第3実施例を示す斜視図。

【図11】従来の交流超電導ケーブルを示す断面図。

【符号の説明】

- 10, 30, 31 交流超電導ケーブル
- 11 超電導素線（超電導多芯線）
- 12, 32, 35 一次燃線（超電導線）
- 13, 33 二次超電導（超電導線）
- 14, 34 三次超電導（超電導線）
- 18, 19, 20 非超電導線（補強用芯線）
- 36 非超電導線（補強用芯材）

【手続補正2】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図5

【補正方法】変更

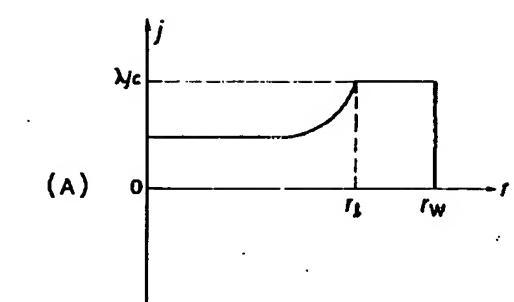
【補正内容】

【図5】

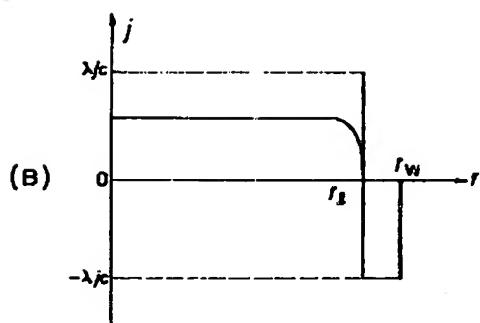
フロントページの続き

(72)発明者 三根 進

神奈川県横浜市鶴見区末広町2の4 株式  
会社東芝京浜事業所内



(A)



(B)

(72)発明者 鳴田 守

神奈川県横浜市鶴見区末広町2の4 株式  
会社東芝京浜事業所内

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-139839

(43)Date of publication of application : 20.05.1994

(51)Int.Cl.

H01B 12/08  
H01F 5/08

(21)Application number : 04-291501

(71)Applicant : FUNAKI KAZUO  
TOSHIBA CORP

(22)Date of filing :

29.10.1992

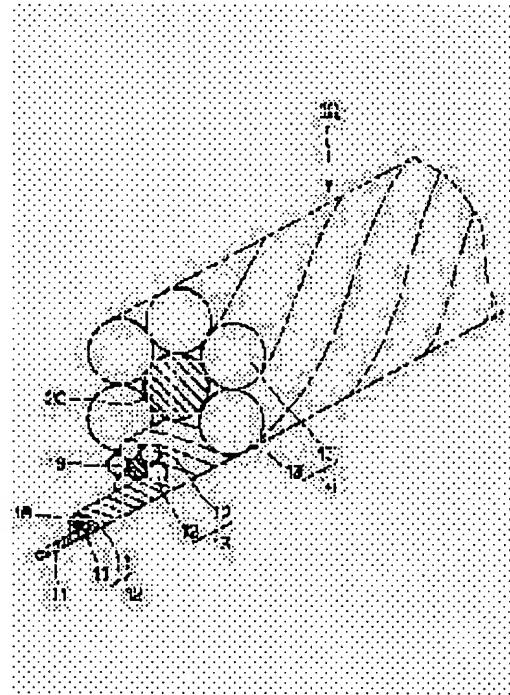
(72)Inventor : FUNAKI KAZUO  
MITSUNE SUSUMU  
SHIMADA MAMORU

## (54) AC SUPERCONDUCTING CABLE

### (57)Abstract:

PURPOSE: To provide an AC superconducting cable unifying the distribution of the current flowing in superconducting strands, capable of stably feeding a large-capacity current, and having high reliability.

CONSTITUTION: Multiple superconducting strands 11 each twisted with many superconducting filaments are twisted to form a primary stranded wire 12 of an AC superconducting cable 10. Multiple primary stranded wires 12 are twisted to form a secondary stranded wire 13. Multiple secondary stranded wires 13 are likewise twisted to form a higher-order multiplex stranded wire 14. The twisting direction and twisting pitch of the superconducting strand 11 and the stranded wires 12-14 are set to satisfy the current unification conditions by the longitudinal magnetic field or the approximate conditions.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of

[rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] Twist two or more superconductive element lines which twisted the superconduction filament of an a large number book, and the first [ in all ] stranded wire is constituted. While two or more [ of this primary stranded wire ] are twisted, and the second [ in all ] stranded wire is constituted, it twists similarly one by one and a high order multiplex stranded wire is constituted The alternating current superconduction cable characterized by setting up so that the current entropy conditions according said superconductive element line, and the twist direction and twist pitch of each stranded wire to a vertical field or the approximation condition of those may be satisfied.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

[Industrial Application] This invention relates to the alternating current superconduction cable which is applied to the alternating current superconduction cable used with commercial frequency, especially is used for superconduction devices, such as a superconduction transformer and a superconducting generator, and a stator winding.

**[0002]**

[Description of the Prior Art] As a superconduction cable for an alternating current, many super-thin superconduction multicore lines (superconductive element line) which have tens of thousands of diameters of 1 micrometer or less, for example, a 0.2-micrometer superconduction filament, conventionally are used. By the superconduction multicore line for an alternating current, since twist pitch \*\*\*\*\* makes a wire size small in order to reduce the loss in ac energisation as much as possible, the current capacity of the superconductive element line per one is stopped by about number 10A.

[0003] In order to enlarge this current capacity, as conventionally shown in Fig. 1111, the superconduction line 2 which twisted two or more superconductive element lines 1 is developed, and in order [ of current capacity ] to aim at an increment further, the superconduction cable of the multiplex stranded-wire structure which twisted the superconduction line several times over is being developed further.

**[0004]**

[Problem(s) to be Solved by the Invention] If a current is fully supplied to the superconduction cable of a long multicore line from an external power, by the field (self-field of a multicore line) which this current builds The phenomenon which an energization current localizes on the superconduction filament which the superconduction filament of the a large number book distributed and arranged in a multicore line joined together in electromagnetism, consequently has been arranged near the periphery section of a multicore line (this phenomenon is called self-field effectiveness of a multicore line.) It is generated. If the alternating current of the commercial frequency of 50Hz or 60Hz or the frequency beyond it is energized on the conventional alternating current superconduction cable, the problem that a current does not flow to homogeneity will arise on each superconductive element line according to localization of the energization current by the self-field effectiveness of a multicore line.

[0005] If the flowing energization current localizes each superconductive element line of an alternating current superconduction cable, a current will concentrate on a specific superconductive element line and the limiting current value of a specific superconductive element line will be exceeded even if it twists many superconductive element lines, in a current value lower than the capacity which the superconductive element line itself has, a superconduction cable will transfer to a normal conducting state from a superconducting state.

[0006] That is, if the flowing energization current localizes an alternating current superconduction cable, even when the energization current has not reached the field current (threshold which a direct current begins to generate) of a short length line, current density reaches critical current density locally, usual

state electrical conduction transition arises, and it becomes the cause of generation of heat or instability. [0007] For this reason, it was very difficult to be able to pass only current capacity far lower than what twisted to the current capacity of a superconductive element line, and multiplied by the number by the conventional alternating current superconducting cable, but to realize the alternating current superconducting cable of high current capacity. In order to obtain the current capacity near the current value which the current capacity of an alternating current superconducting cable was raised, twisted to the current capacity of a superconductive element line, and multiplied by the number, the alternating current superconducting cable should have been constituted how, or it had become a problem.

[0008] This invention was made in consideration of the situation mentioned above, makes the current distribution which flows a superconductive element line equalize, and aims at offering an alternating current superconducting cable with the high dependability which can pass a mass current stably.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the technical problem mentioned above, this invention twists two or more superconductive element lines which twisted many superconducting filaments of a book, and constitutes the first [ in all ] stranded wire. While two or more [ of this primary stranded wire ] are twisted, and the second [ in all ] stranded wire is constituted, it twists similarly one by one and a high order multiplex stranded wire is constituted, it sets up so that the current entropy conditions according said superconductive element line, and the twist direction and twist pitch of each stranded wire to a vertical field or the approximation condition of those may be satisfied.

[0010]

[Function] Since it set up so that the current entropy conditions according the twist direction and twist pitch of a superconductive element line and a stranded wire to a vertical field (field which met the multicore line), or the near relation condition of those might be satisfied in the alternating current superconducting cable of this invention Homogeneity can be made to impress uniformly or mostly the vertical field in alignment with the multi-core wire shaft of a superconducting cable to multicore line shaft orientations. The current distribution which the superconducting filament of a book is made to distribute uniformly many energization currents localized according to the self-field effectiveness of the above-mentioned multicore line etc., and flows a superconductive element line can be made to equalize mostly. For this reason, it can control on an effective target that usual state electrical conduction transition arises on the multicore line of an alternating current superconducting cable, and an exothermic effect and heat insulation instability arise, it can be formed into high current capacity, and a mass current can be passed stably.

[0011] On the contrary, when current capacity is set constant, thinning of a superconducting cable can be attained and it is advantageous in respect of cost and a coil consistency.

[0012]

[Example] Hereafter, one example of the alternating current superconducting cable concerning this invention is explained with reference to an accompanying drawing.

[0013] Drawing 1 and drawing 2 show the example of representation of the alternating current superconducting cable concerning this invention. This alternating current superconducting cable 10 is a superconducting line of multiplex stranded-wire structure used for superconducting devices, such as a superconducting transformer, a superconducting generator, a stator winding, and a current limiter.

[0014] the multiplex stranded wire with which the alternating current superconducting cable 10 has the diameter of for example, 4.5mmphi -- it is a conductor and this alternating current superconducting cable 10 consists of the superconductive element lines 11, the primary stranded wires 12, the secondary stranded wires 13, and the Miyoshi stranded wires 14 of a superconducting multicore line.

[0015] The superconductive element line 11 is a superconducting multicore line constituted as shown in drawing 3, twists many superconducting filaments 16 of 0.2 micrometerphi extent in the direction (or Z direction) of this (tens of thousands of [ for example, ]) S, and is constituted. The superconductive element line 11 has below 1mmphi, for example, the diameter of 0.165mmphi, and twists this superconductive element line 11 to the circumference of 6 and the central non-superconducting line 18 at a Z direction, and the first [ in all ] stranded wire 12 is constituted as a single superconducting line.

[0016] The secondary stranded wire 13 is a superconduction line of the duplex which twists six primary stranded wires 12 to the circumference of the central non-superconduction line 19 at a Z direction, and is constituted.

[0017] moreover, the superconduction line of Miyoshi where the Miyoshi stranded wire 14 twisted six secondary stranded wires 13 in the direction of S to the circumference of the central non-superconduction line 20 -- it is -- this Miyoshi stranded wire 14 -- a multiplex stranded wire -- the alternating current superconduction cable 10 which is a conductor is constituted. The non-superconduction lines 18, 19, and 20 arranged in the center of each stranded wires 12, 13, and 14 of the alternating current superconduction cable 10 are core wires for reinforcement made from for example, a stainless steel ingredient.

[0018] Z1 Z2 S3, as for this alternating current superconduction cable 10, the twist direction of each stranded wires 12, 13, and 14 of primary, secondary, and Miyoshi turns [ three ] to a Z direction, a Z direction, and the direction of S the 6x6x6 mold multiplex stranded wire of a type -- the conductor is constituted. The twist direction of each stranded wires 12, 13, and 14 of the alternating current superconduction cable 10 is Z1 Z2 S3. It is not limited to a type but how equivalent to a part for the combination of the direction of S and a Z direction to twist can be considered.

[0019] The superconductive element line 11 which constitutes the primary stranded wire 12 of the alternating current superconduction cable 10 twists several superconduction many filaments which have the die length of several km - 10km of numbers, for example, use NbTi and Nb<sub>3</sub>Sn as the main superconducting materials.

[0020] Drawing 3 is a thing which uses NbTi as the main superconducting materials and which shows the example of the superconductive element line 11 of 0.165mmphi, for example.

[0021] This superconductive element line 11 has a three-tiered structure as a whole, for example, and consists of central core section 16a and interlayer section 16b of an outside, and sheath section 16c of an interlayer section outside. Core section 16a constitutes the honeycomb-like matrix which covered Cu with CuNi (Cu-10wt%nickel), and interlayer section 16b of the outside of this matrix 21 arranges the NbTi filament 22 densely, and constitutes the filament section. Let sheath section 16c located in the outside of the filament section be a CuNi layer.

[0022] Even if the NbTi filament 21 of interlayer section 16b is the three-tiered structure which covered NbTi with Cu and CuNi, it may be the two-layer structure which covered NbTi with CuNi. Anyway, the superconductive element line 11 consists of the stabilization copper and the NbTi filament 22 of an outside of Cu/CuNi of a central site, it is what covered the front face with the CuNi layer, and the insulating layer is not prepared.

[0023] The superconductive element line 11 twists the superconduction filament 16 of the a large number book (tens of thousands of) of the diameter of the same of 0.2 micrometerphi, and may constitute it.

[0024] Next, the energization property of an alternating current superconduction cable is explained.

[0025] the electromagnetism accompanying electromagnetism-[ this superconduction multicore line ] association between the superconduction filaments in the superconduction multicore line [ as opposed to / the superconduction multicore line which consist of a superconduction filament 16 of a book is used for the superconductive element line 11 used for the alternating current superconduction cable 10, and / the field (horizontal field) B<sub>t</sub> perpendicular to the multi-core wire shaft Z ] 11, or this association -- in order to control loss (filament joint loss), a twist is usually given. A twist of the superconduction multicore line 11 is called twist. For the twisted superconduction multicore line 11, the number of turns per unit length are the twist pitch l<sub>p</sub> about each superconduction filament. It can be regarded as a coil equal to the inverse number.

[0026] If homogeneity or an almost uniform vertical field is impressed to the superconduction multicore line 11, the current distribution of the non-saturation region to uniform field coordination can be spatially drawn from the preservation conditions of the total magnetic flux interlinked to the field surrounded by Electric Center Line in the adjoining superconduction filament.

[0027] It sets to drawing 4 and they are the energization current I<sub>t</sub>, the homogeneity horizontal field B<sub>t</sub>,

and the homogeneity length field  $B_l$ . Time amount change of the receiving current distribution  $j$  is [Equation 1].

$$\frac{\partial j}{\partial t} = D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial j}{\partial r} \right) + \frac{4\pi}{\mu_0 l_p} \left( \dot{B}_l + \frac{\mu_0}{l_p} \dot{I}_T \right) \quad \dots\dots (1)$$

[Equation 2]

$$D = \frac{\sqrt{\pi r_f^2}}{2\mu_0 \lambda J_C} |\dot{B}_l| \quad \dots\dots (2)$$

但し、  $D$  : 等価的な電流拡散時定数

$r_f$  : 超電導フィラメント径

$\lambda J_C$  : 平均的臨界電流密度

$\mu_0$  : 真空の透磁率

$l_p$  : ツイストピッチ

It is come out and expressed.

[0028] That is, if an almost uniform vertical field is impressed to the superconduction multicore line 11, according to the magnetic flux interlinked in a superconduction filament coil, electromotive force will occur on a superconduction filament, but since electromotive force is proportional to the square of a superconduction filament coil diameter, between the superconduction filaments from which the coil diameter differed, induction of the current is carried out to a superconduction filament based on the difference of electromotive force.

[0029] Moreover, the current density  $j_{sh}$  in which induction is carried out to a superconduction filament by the electromotive force difference between superconduction filament coils since time amount change of a flux linkage is 0 in the superconduction multicore line 11 by which the superconduction filament was distributed by about 1 appearance is [Equation 3] when the diffusion term of the current of the 1st term of the right-hand side is disregarded from (1) type.

$$j_{sh} = \frac{4\pi}{\mu_0 l_p} \left( B_l + \frac{\mu_0}{l_p} I_T \right) \quad \dots\dots (3)$$

It is come out and expressed.

[0030] It sets at this (3) ceremony and is the vertical field  $B_l$ . It is the magnitude (flux density) of a uniform vertical field, and is the value determined depending on how (the direction of S, or Z direction) to twist the superconduction multicore line 11. However, the forward direction of the sense of each field or a current corresponds towards the twist of the superconduction multicore line 11.

[0031] Moreover, it is rw about the radius of the superconduction multicore line 11 from (3) types. If it carries out, it is the energization current  $I_T$  of the superconduction multicore line 11. Cross-section pirw2 Relation is classified into the following pattern.

[0032]

[Equation 4]  $I_T > \text{pirw2}$  and  $j_{sh} \dots\dots (4)$

[Equation 5]  $IT = \pi r w^2$  and  $j_{sh} \dots (5)$

[Equation 6]  $IT < \pi r w^2$  and  $j_{sh} \dots (6)$

[0033] In the superconduction multicore line 11, in the case of (4) types and (6) types, as shown in drawing 5 (A) and (B), radial current distribution is expressed typically, and when it is (5) types, since a saturation region does not exist in the periphery section but homogeneity distribution is attained, heat insulation instability is avoided.

[0034] (5) clear from a formula -- as -- all the currents in the superconduction multicore line 11 -- energization current  $IT$  it is -- the time -- a saturation region -- not generating -- a current -- equalizing -- having -- things -- understanding . since electric shielding current density is decided by the vertical field -- a stranded wire -- a conductor -- in inside, if this current equalization condition is attained by twisting, carrying out skillful \*\*\*\*\* of the stranded-wire structures, such as a pitch, and adjusting the vertical component in the self-field of a stranded wire, it will become possible to raise the stability of the superconduction for an alternating current by leaps and bounds.

[0035] Then, energization current  $IT$  localized according to the self-field effectiveness etc. in the superconduction multicore line The conditions for carrying out entropy are  $jT$  about the average current density of a superconduction multicore line. It is [Equation 7] when it carries out.

$$j_{sh} = j_T = I_T / S_f \quad \dots \dots (7)$$

但し、  $S_f$  : 超伝導フィラメントが分散配置されている領域の断面積

It is come out and given.

[0036] Vertical field  $B_1$  for carrying out entropy of the energization current in a superconduction multicore line from the so-called (3) types and (7) types [Equation 8]

$$B_1 = \frac{\mu_0}{l_p} \cdot I_T \left( \frac{1}{4\pi S_f} - 1 \right) \quad \dots \dots (8)$$

It is come out and given. This (8) type is the current entropy conditions in a vertical field of view.

[0037] the energization current which will flow the inside of the superconduction multicore line 11 if a deer is carried out, (8) types are satisfied on a superconduction multicore line, or it twists with the twist direction ( $S$  twist = the direction of  $S$ , regular-lay-left-twist =  $Z$  direction) with which it is made satisfied in approximation and a pitch (twist pitch  $I_p$ ) is given -- about [ entropy or ] -- are-izing [ Mr. / 1 ] and the increment in current capacity can be aimed at.

[0038] Moreover, the field which can aim at improvement in stability even if it makes a vertical field impress to the superconduction multicore line 11 is a field surrounded on the boundary of the segments a, b, c, and d shown in drawing 6.

[0039] (1) Segment a : in the field on the left of the boundary of this segment a ( $B_1 < 0$ ), it is the vertical field  $B_1$ . By impression, the saturation region of the superconduction multicore line periphery section increases further, and stability falls.

(2) Segment b : the place where an energization current reaches the critical current of a superconduction multicore line.

(3) Segment c : the place where the electric shielding current by the vertical field is saturated.

(4) Segment d : in the field on the right of this boundary, by impression of a vertical field, the saturation region of the superconduction multicore line periphery section increases further, and stability falls.

(5) Segment e : the conditions to which the current distribution in a superconduction multicore line becomes uniform.

[0040] Also in drawing 6 , although a stabilization field is a field surrounded by Segments a, b, c, and d, it is desirable near [ to which the current entropy conditions of (8) types are satisfied as much as possible ] the straight line e. drawing 6 -- setting -- an axis of ordinate -- the energization current  $IT$  and an axis of abscissa -- vertical field  $B_1$  it is . Vertical field  $B_1$  The definition of the forward direction is the

direction and this direction of an energization current, when a superconduction multicore line is the right (S) twist and it is the direction of an energization current, hard flow, and the left (Z) twist.

[0041] Moreover, it is critical current  $I_c$  here. Although shown as fixed, generally it is critical current  $I_c$ . Since it depends in the magnitude and the direction of a field on which the superconduction multicore line 11 is put, on condition that a magnetic environment, it is necessary to carry out. Here, it is Current IT to the target superconduction multicore line under the conditions actually used and an environment. While energizing, it considers as critical current when only a horizontal component (horizontal field) is impressed to an independent multicore line among the fields to which the multicore line is exposed.

[0042] Moreover, vertical field  $B_l$  impressed to the superconduction multicore line 11 When the range was too wide, it turned out that stabilization may fully be raised in the field surrounded on the boundary of segment a' of drawing 7, b, c', and d'.

[0043] Namely, [Equation 9]

$$0 < I_T < I_c / 3$$

$$; B_{l1} / 3 \text{ (境界a' 上)} < B_l < (B_{l1} + 2 B_{l3}) / 3 \text{ (境界d' 上)}$$

$$I_c / 3 < I_T < I_c .$$

$$; B_{l1} / 3 \text{ (境界a' 上)} < B_l < (B_{l1} + 2 B_{l2}) / 3 \text{ (境界c' 上)}$$

Although it turned out that \*\*\*\*\* is a stabilization field, it is more desirable that it is close to the current entropy conditions of a straight line e also in this case.

[0044] by the way, the alternating current superconduction cable 10 -- a multiplex stranded wire -- it is constituted as a conductor.

[0045] Generally, it sets to a multiplex stranded wire and is the vertical field  $B_l$ . Energization current IT Although it is in proportionality, the twist direction or twist pitch of each stranded-wire level (primary, secondary, and Miyoshi --) cannot be expressed with easy relational expression.

[0046] however, the vertical field  $B_l$  require of the entropy of the current distribution in the superconduction multicore line 11 since relation be uniquely define in analyses, such as a computer, between multiplex stranded wire structure and the magnitude of the vertical field in alignment with a superconduction multi-core wire shaft the twist direction and the twist pitch to which magnitude be give and which be base on the type of various multiplex stranded wires, and fill a demand based on the analysis of field count can determine on the current entropy conditions of (8) types.

[0047] Namely, what is necessary is to be based on the various types of a multiplex stranded wire, and just to determine the twist direction and twist pitch of the multiplex stranded wire which fulfills or fulfills the current entropy conditions in the vertical field of (8) types in approximation based on the analysis of field count.

[0048] Drawing 8 twists with the twist direction of the optimized multiplex stranded wire which fulfills the current entropy conditions of (8) types based on field count analysis, and shows a pitch.

[0049] drawing 8 -- an alternating current superconduction cable -- a three-fold 6x6x6 mold stranded wire -- the example using a conductor is shown.

[0050] 3-fold stranded wire -- the item of a conductor -- [External Character 1]

超電導素線 : 0. 167mmΦ、

フィラメント径 = 0. 2 μm、

臨界電流密度 =  $7.7 \times 10^9 / B^{1/2} A/m^2$

材料 ; NbTi ; Cu ; Cu 10wt%Ni

(0. 3 ; x (<0.1) ; 0. 7 - x)

一次撚線 : 0. 5mmΦ

二次撚線 : 1. 5mmΦ

三次撚線 : 4. 5mmΦ

It comes out.

[0051] the twist pitch of the superconductive element line 11 by which drawing 8 was optimized to 3-fold stranded-wire structure of four kinds (stranded-wire structure: S3 Z2 Z1, S3 Z2 S1, S3 S2 Z1, and S3 S2 S1) of types as an alternating current superconduction cable, and last -- 3-fold stranded wire which is a conductor -- the twist pitch of a conductor is shown. twist pitch LP of drawing 8 to a superconductive element line (superconduction multicore line) although each strand structure is restored to the range of 1-2mm -- last -- it turns out that it depends for the twist pitch of a conductor on stranded-wire structure. 3-fold stranded wire -- the stranded-wire structure in a conductor -- setting -- S3 Z2 Z1 A primary stranded wire twists a type the left (Z direction), a secondary stranded wire twists the left (Z direction), and the Miyoshi stranded wire shows the example of a right (direction of S) twist.

[0052] In addition, at one example of the alternating current superconduction cable of this invention, it is Z1 Z2S3 of 6x6x6 mold. Although the example of 3-fold stranded-wire structure of a type was shown, while stranded-wire structure has various types, it may not be limited to 3-fold stranded-wire structure, may be a single stranded wire, may be a duplex stranded wire, or may be four-fold or more multiplex stranded wire.

[0053] moreover, the 6x6x6 mold multiplex stranded wire which replaces with this non-superconduction line, uses a superconduction line, and is shown in drawing 1 and drawing 2 although the non-superconduction line has been arranged as a core wire for reinforcement at the core of each level of a multiplex stranded wire -- a conductor -- a 7x7x7 mold multiplex stranded wire -- it is good also as a conductor. When a superconduction line is adopted as a core, in order to make the impedance of each superconduction line equal, it is good to twist so that a central superconduction line may replace an outside superconduction line one by one.

[0054] furthermore, the multiplex stranded wire of an alternating current superconduction cable -- a conductor is shown in drawing 9 -- as -- a 3x3x3 mold multiplex stranded wire -- it is shown in drawing 10 also as a conductor 30 -- as -- a rectangle stranded wire -- it is good also as a conductor 31.

[0055] the multiplex stranded wire shown in drawing 9 -- a conductor 30 shows the example of 3-fold stranded-wire structure, twists three [11], for example, the superconductive element line of a right (direction of S) twist, to a Z direction, and constitutes the first [ in all ] stranded wire 32. and this primary stranded wire 32 -- 3 Z directions -- twisting -- the second [ in all ] stranded wire 33 -- the secondary stranded wire 33 -- a Z direction -- twisting -- the third [ in all ] stranded wire 34 -- constituting -- Z1 Z2 Z3 3-fold stranded wire of a type -- a conductor is constituted.

[0056] the rectangle stranded wire shown in drawing 10 -- a conductor 31 twists six superconductive element lines (7 [ or ]) 11, constitutes the first [ in all ] stranded wire 35, twists several [ of this primary stranded wire 35 / many ] around the surroundings of the non-superconduction line 36 as a core material for reinforcement of a rectangle cross section, and constitutes the secondary stranded wire 37. You may make it twist a multiplex stranded wire around the surroundings of the non-superconduction line 36.

[0057]

[Effect of the Invention] Since it is set up so that the twist direction, and the current entropy conditions accord a twist pitch to a vertical field or the approximation condition of those of a superconductive element line and each stranded wire might be satisfied, the superconduction filament of a book can be made to be able to distribute uniformly many energization currents localized according to the self-field effectiveness of a superconduction multicore line (superconductive element line) etc., and the current distribution which flows a superconductive element line can be made to equalize in the alternating current superconduction cable apply to this invention above. For this reason, usual state electrical conduction transition arises on the multicore line of an alternating current superconduction cable, and an exothermic effect can be carried out to it, or it can control on an effective target that heat insulation instability arises, and high current capacity-ization can be attained.

[0058] When current capacity is set constant, thinning of a superconduction cable can be attained and it is advantageous in respect of cost reduction or a coil consistency.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

[Drawing 1] The perspective view showing one example of the alternating current superconduction cable concerning this invention.

[Drawing 2] The sectional view of the alternating current superconduction cable shown in drawing 1.

[Drawing 3] Drawing showing in instantiation the superconductive element line (superconduction multicore line) used for an alternating current superconduction cable.

[Drawing 4] Drawing showing the field coordination over the superconductive element line used for an alternating current superconduction cable.

[Drawing 5] (A) It is drawing in which reaching and showing the current distribution of the superconductive element [ (B) ] line under a vertical field.

[Drawing 6] Drawing showing the relation between the vertical field whose stabilization improves, and an energization current.

[Drawing 7] Drawing showing a vertical field when the range of a vertical field is large, and the relation of an energization current.

[Drawing 8] Drawing showing the relation between the twist pitch in the optimized stranded wire, and the last twist pitch in the alternating current superconduction cable concerning this invention.

[Drawing 9] The perspective view showing other examples of the alternating current superconduction cable concerning this invention.

[Drawing 10] The perspective view showing the 3rd example of the alternating current superconduction cable concerning this invention.

[Drawing 11] The sectional view showing the conventional alternating current superconduction cable.

**[Description of Notations]**

10, 30, 31 Alternating current superconduction cable

11 Superconductive Element Line (Superconduction Multicore Line)

12, 32, 35 Primary stranded wire (superconduction line)

13 33 Secondary superconduction (superconduction line)

14 34 Miyoshi superconduction (superconduction line)

18, 19, 20 Non-superconduction line (core wire for reinforcement)

36 Non-Superconduction Line (Core Material for Reinforcement)

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

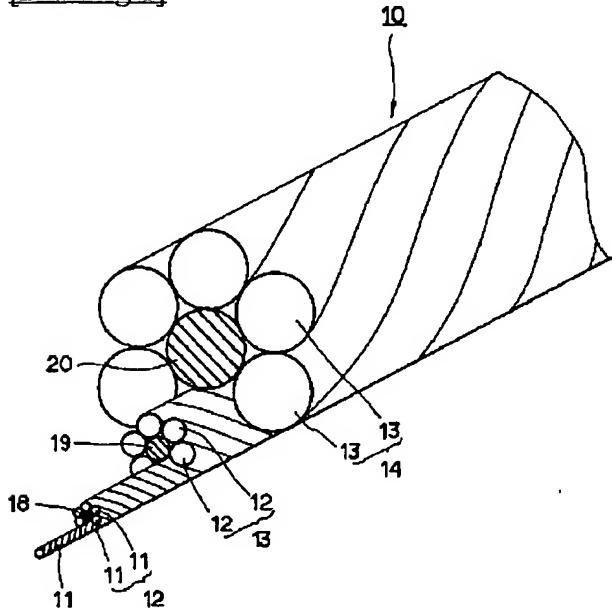
JPO and NCIPI are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

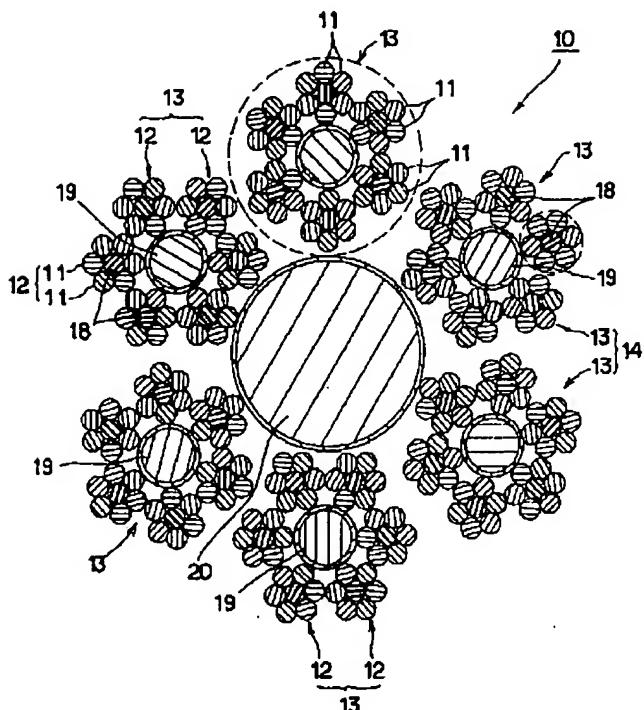
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

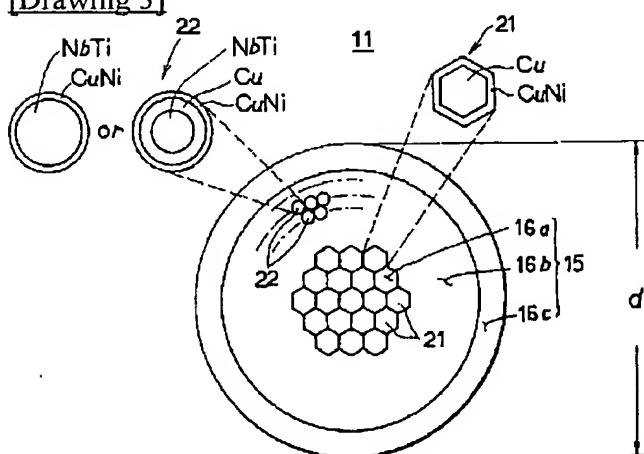
**DRAWINGS**

---

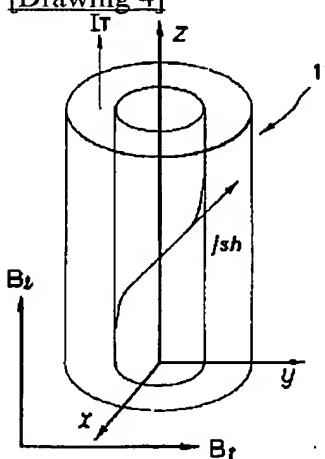
**[Drawing 1]****[Drawing 2]**



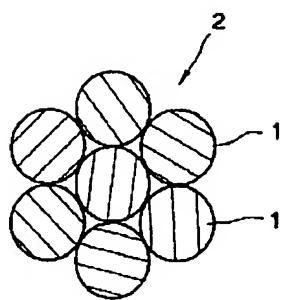
[Drawing 3]



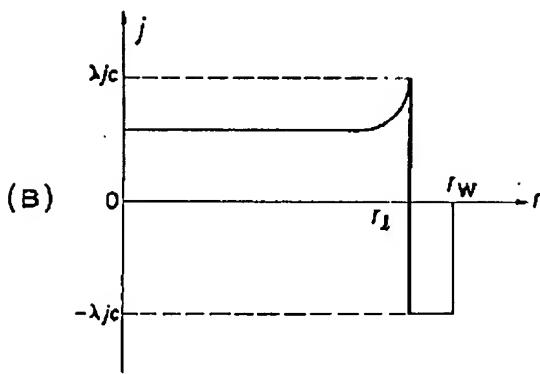
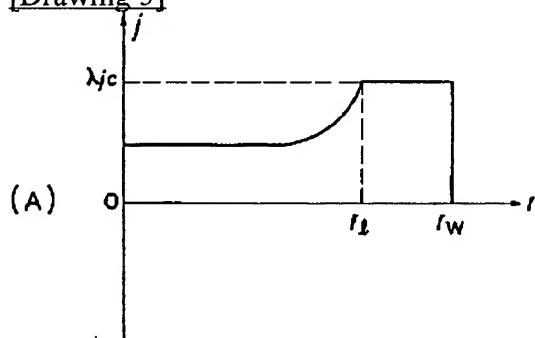
[Drawing 4]



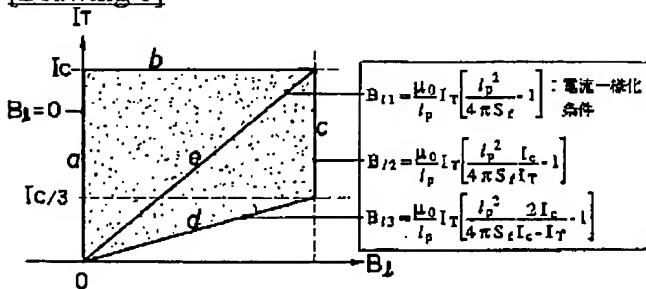
[Drawing 11]



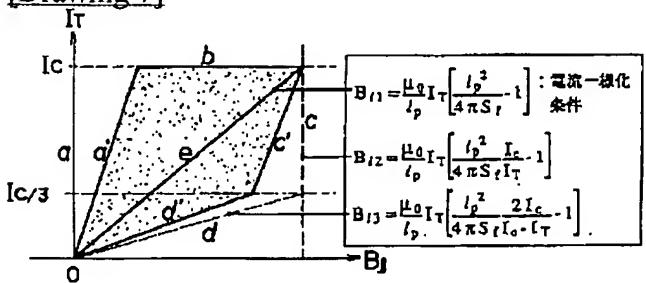
[Drawing 5]



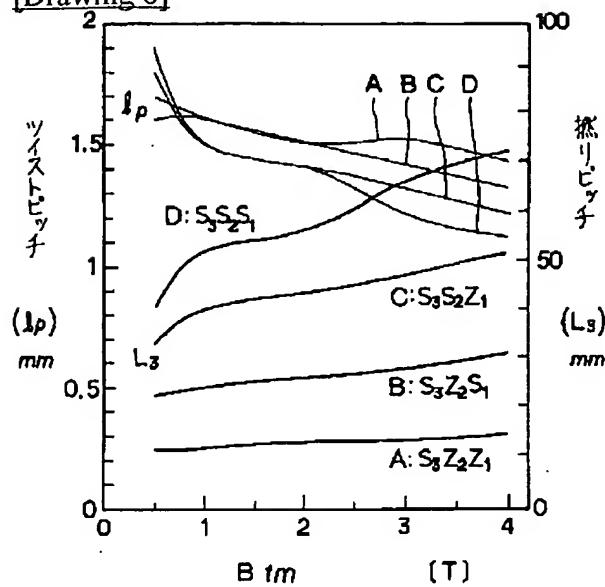
[Drawing 6]



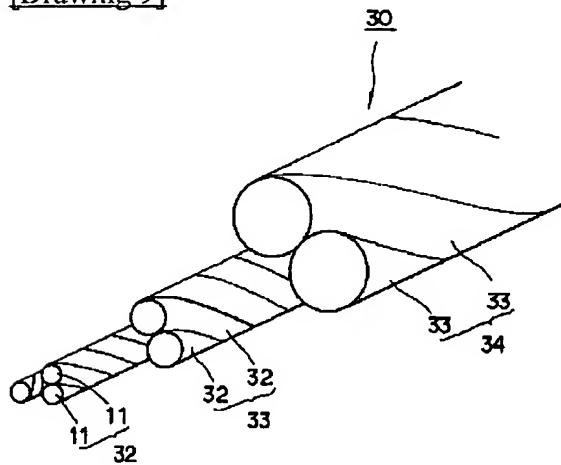
[Drawing 7]



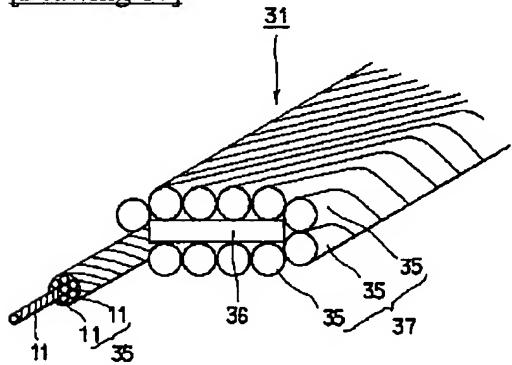
[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Drawing 10]




---

[Translation done.]